

水位上昇検知型自動採水器の試作・改良と それを用いた浮遊砂濃度の一測定例

Improvement of the Automatic Water Sampler
with Water Level Sensor

廣瀬 孝*・恩田 裕一**・岩下 広和***・瀬戸 康裕****・
木村 時政**・松倉 公憲*****

Takashi HIROSE, Yuichi ONDA, Hirokazu IWASHITA, Yasuhiro SETO,
Tokimasa KIMURA and Yukinori MATSUKURA

I はじめに

降雨－流出プロセスにおける水や浮遊土砂の流出のメカニズムを解明するためには、降雨イベントにともなう採水を行い、その水質や浮遊土砂濃度を測定することが欠かせない。しかし、降雨イベント時の採水は、(1)降雨がいつ起こるかの予測が難しい、(2)夜間に降雨が起こる場合も非常に多い、などのために人力で行うのは非常に困難である。そのために非常に有用な器械として自動採水器がある。しかし、既製品は非常に高価であるため、数カ所において同時に測定を行うような場合には経済的負担が大きい。そこで我々は、堰などの水位上昇を検知して作動し、任意のインターバルで採水ができ、しかも非常に安価(約3万円)に製作できる自動採水器の試作に取り組んできた(岩下ほか, 1994)。また、それを実際に用いて降雨イベント時の水質変化のデータを得ている(一柳ほか, 1994)。本研究では、岩下ほか

(1994)の回路などを若干修正し、動作の安定性の向上を図るとともに、長期間野外に設置しておけるように耐久性を向上させた。また、それを用いて浮遊土砂濃度の降雨イベント時の変化を測定した。

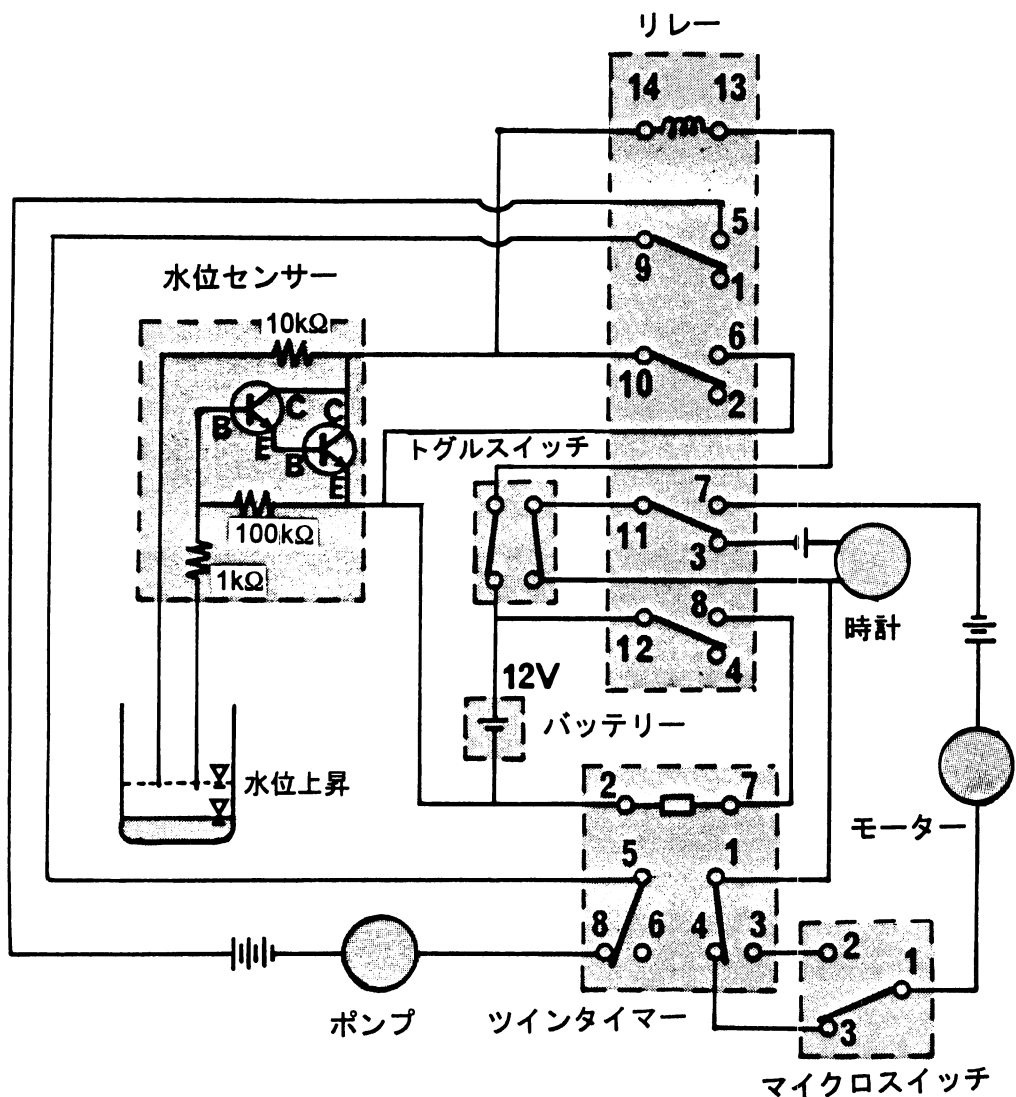
II 自動採水器の試作・改良

1. 自動採水器「みずとる君」の概要

岩下ほか(1994)により、自動採水器には「みずとる君1号」という名が付けられた。これにならって本研究で製作した自動採水器は、「みずとる君1号改」と呼ぶことにする。「みずとる君」の主な機能および特徴は次のようである。(1)水位センサーにより降雨による水位上昇を検知して作動する。(2)ツインタイマーにより採水間隔を任意(1分~600分程度)に設定できる。(3)時計を用いて測定開始時刻を知ることができる。(4)共洗いによる洗浄機能がある。(5)1リットルのポリ瓶12本の採水ができる。(6)ピンポン玉を用いた蓋により蒸発を抑える。(7)

*筑波大学大学院地球科学研究科 **名古屋大学農学部 ***東京都立大学大学院理学研究科

****筑波大学第一学群自然学類(現 大学院環境科学研究科) *****筑波大学地球科学系



第1図 自動採水器の回路図

DC12V のバッテリーで作動する。

2. 各部の機能と必要部品

「みずとる君」の回路図を第1図に示す。この図の可動スイッチ類は、設置時すなわち作動前の状態を示している。また、図中のリレーなどに示されている番号は、後述する製品を使用した場合の端子番号である。次に「みずとる君」の機能と必要部品を、水位センサー、制御回路、モーターによる可動部（マイクロスイッチとスリット含む）、ポンプおよび

送水管、本体骨組み、ポリ瓶ガイドおよび蓋の6つに分けて説明する。

1) 水位センサー

水位センサーは、トランジスタ (2SC 1815-Y) 2 個と抵抗 3 個 ($1\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$, $100\text{ k}\Omega$) を組み合わせた一種の増幅回路である。この回路より延長したコードの先端 (AC コンセント用のプラグを使用) が、実際の水位上昇を検知する部分である。センサー先端の電極が水に浸かると回路に電流が流れ、「み

ずとる君」が起動する仕組みである。増幅回路を用いないと、水のような抵抗の大きいものでは回路は導通しない。野外に設置する場合には、「みずとる君」を起動させた水位上昇とハイドログラフとの対照ができるように、流量を計測している場所（堰など）に水位センサー電極を取り付ける。

2) 制御回路

メインとなる制御回路は、写真-1の様になっている。この回路は、回路制御用のツインタイマー（オムロン社製 H3BF-8 12VDC：ソケット P2CF-08）および4連式リレー（オムロン社製 H3BF-8 12VDC：ソケット PYF14A）、時刻を知るための時計、モーター・ポンプ・時計用の電源（単一電池用の電池ボックス）から作られている。この回路によって、採水間隔の設定など一連の制御を行う。タイマーとリレー（この二つで総制作費の3分の1を占める）はDC12Vで作動するタイプであるため、車用のバッテリーを電源として「みずとる君」は作動する。ツインタイマーはオン時間とオフ時間を自由に設定できるもので、これによって採水間隔の設定を行う。タイマー自体は0.05秒から100時間までの時間設定ができるものであるが、設定がアナログであることと「みずとる君」の構造から考えると、1分から10時間くらいまでの採水間隔の設定が可能である。また、水位センサーが作動すると、時計の回路が切れ作動時刻を指して時計が停止するようになっている。時計は次にセッティングし直すまで停止したままであるので、この採水開始時刻とそのときの水位から、

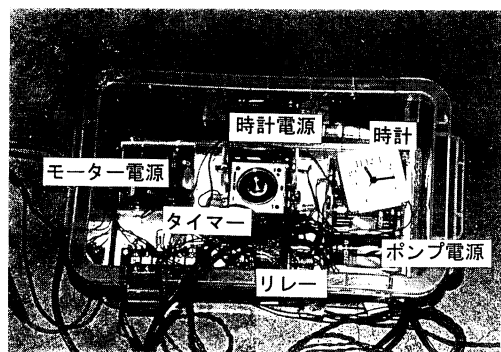


写真-1 制御回路

どの降雨-流出イベントの水が採水されたかがわかる仕組みになっている。時計を日付までわかるようなものに変えれば、水位との対比は必要がなくなる。設置の際には、この回路と前述の水位センサーを写真のような箱に入れ、採水器本体にのせておくようにした。

3) モーターによる可動部（マイクロスイッチとスリット含む）

送水管をつけたアームをモーターに取り付け、これが円形に配置したポリ瓶の上を回転することによって、12本の採水が順次行えるようにした。モーターとギアはタミヤ遊星ギアセットをギア比1:8000にして使用し、アームが低速で回転するようにした。ポリ瓶の位置でモーターが止まって採水できるようにするために、直径約27cmのプラスチックリング（特大の蛇腹式ごみ箱）とマイクロスイッチ（オムロン社製 SS-01GL2）を使用した。リングには30度ごとに12個のスリット（幅約1cm）を切り込んだ。このスリットの部分とそれ以外の部分を、アーム先端につけたマイクロスイッチが移動（第1図でマイクロスイッチがスリットにある時は端子（1-3）が、スリット以外にある時は端子（1-2）が導通する）することによって、モーターの第2の制御（第1の制御はタイマーがする）をする。タイマーとマイクロスイッチを組み合わせた制御によって、スリットの位置でアームが停止してポリ瓶へ採水する動きを繰り返すことができる。また、回路全体のオン・オフをするトグルスイッチを、最初の採水を行うスリットの前に取り付け、12回の採水が終わり、13回目が始まった直後のアームの回転がトグルスイッチをオフにして回路全体の機能が停止するようにした。

4) ポンプおよび送水管

水の汲み上げ用のポンプには、市販の電動灯油ポンプを使用した。これは、3.0V仕様（揚水力約1m）のものであるが、より安定した揚水力を得るために4.5Vで使用した。また、送水管にはビニールホースと塩ビパイプを用いた。送水管は本体上部と回転するアームのところを漏斗を用いることにより切り放した。これによってアーム回転に必要なモーターのトルクが小さくて済む。回路の性格上ポンプ

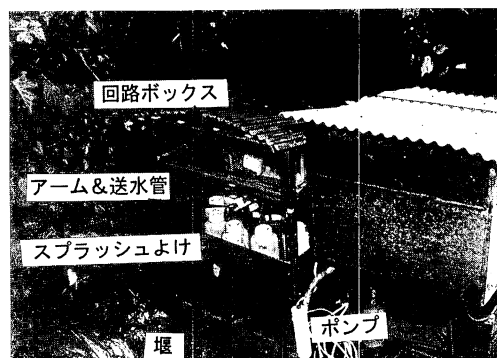


写真-2 野外での設置状況

はどの様なもの（たとえばお風呂ポンプ(DC12V)）でも使用可能であるので、使用目的と設置場所の都合によって変えることができる。

5) 本体骨組み

採水器本体は鉄製L字アングルを使用して骨組みを組み立て、ベニヤ板でポリ瓶を置くための底板(60cm×60cm)を取り付けた。また、地面からのスブラッシュが内部にはいることを防ぐため、本体の下から半分ほどの高さまでの側面にはベニヤ板を取り付けた(写真-2参照)。上から半分ほどの側面は、厚手のビニールシートで覆い、同様にスブラッシュや雨の進入を防ぐようにした。また屋根部分には、塩ビ製の波板を使用した。また実際に設置する

際には、さらに農業用ビニールシートで器械全体を覆った。

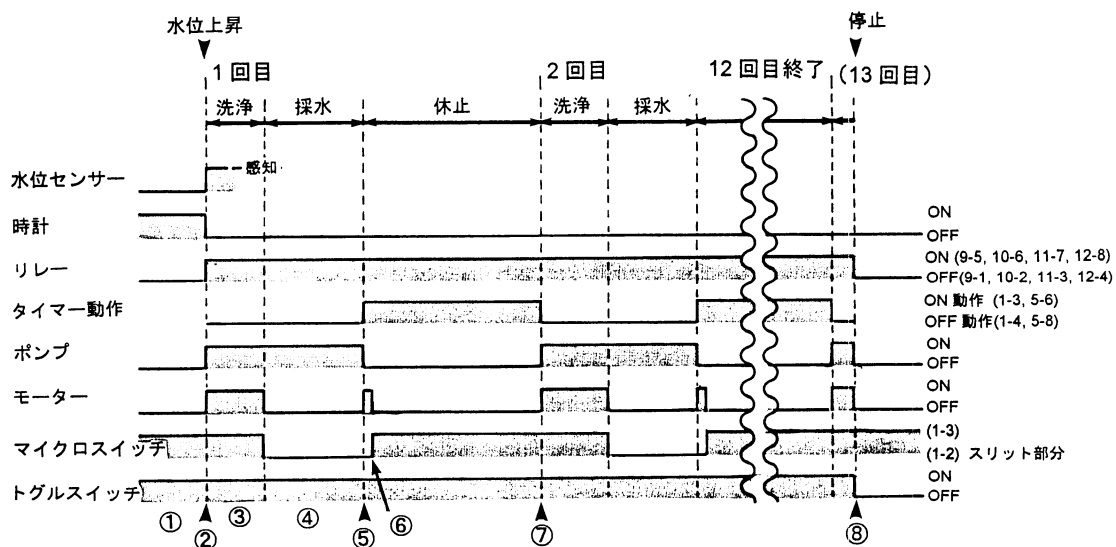
6) ポリ瓶ガイドおよび蓋

本体底板にポリ瓶を円形に配置する際には、それがスリットの位置とうまく合うようにしなければならない。現地で位置合わせをするのは面倒なので、塩ビパイプ(直径約10cmの1リットルのポリ瓶を使用する場合には、VU100のものが適度な隙間もありちょうどよい)を5cmほどに切ったものを底板にあらかじめ配置して、ポリ瓶を支えるガイドとした。底板には水抜き用の穴をあけた。そうしないと、ガイドパイプにたまった水によってポリ瓶が浮いて傾いてしまい、うまく採水できなくなる。

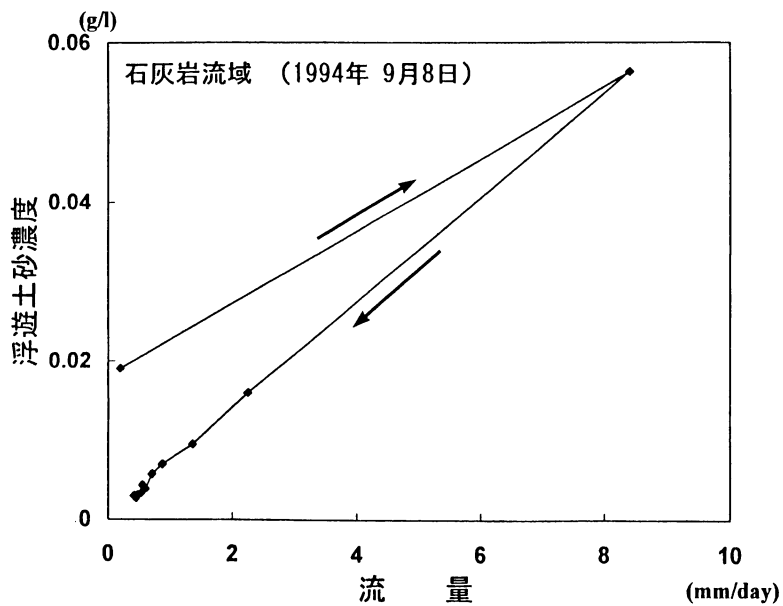
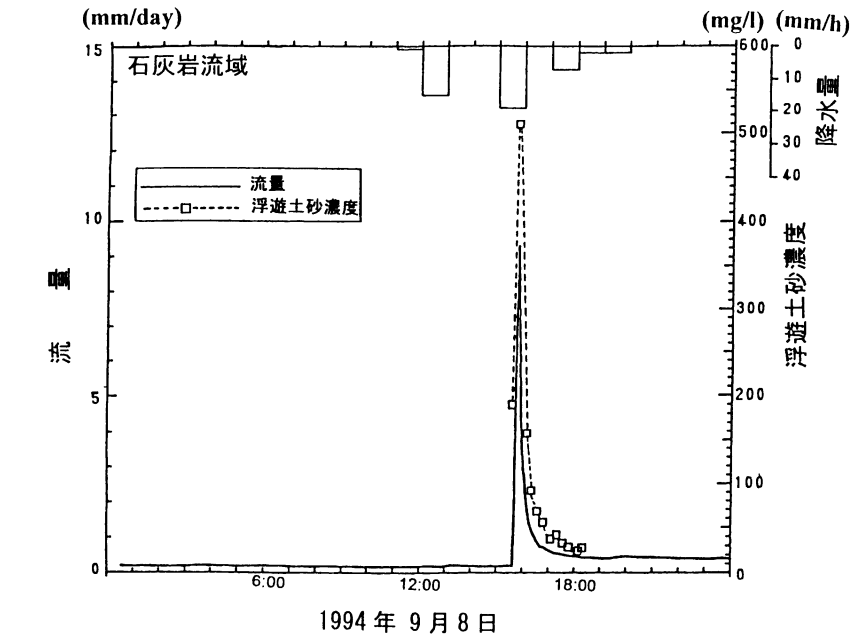
また蒸発を防止するために、以下のように、ピンポン玉で蓋がされるような機構を作成した。ポリ瓶は内蓋をはずし、中に1個ピンポン玉をいれ、ピンポン玉の直径よりやや小さい穴を開けた外蓋をする。水が入るとピンポン玉が浮き上がり、蓋に開けられた穴にぴったりはまることによって栓がされ、試料の密封性が保たれる。密閉性の善し悪しは、開けた穴が切り口のなめらかな真円かどうかにかかってくる(今回は、直径28mmのドリルを用いた)。

3. 採水動作の流れ

採水動作の流れ図を第2図に示す。時間経過の流



第2図 自動採水器の動作流れ図



第3図 浮遊土砂濃度の測定例

れ（図中の左から右に向かって）に沿って採水動作を順に説明する（以下の番号は図中の番号に対応する）。①：起動前（設置状態）には、時計だけが動いている。②：降雨イベントにより水位が上昇し、センサーがそれを検知すると、リレーに電流が流れ

採水動作が開始する。リレーは、端子14と10をつないだ自己保持回路により最後までON状態である。このとき時計が止まり、採水開始時刻が記録される（時計は最後までOFFのままである）。同時にツインタイマーがポンプとモーターの制御を始める。③：

モーターが作動し、アームがスリットからスリットへ移動（マイクロスイッチがスリット以外にある）している時の状態である。このとき、ポンプも作動しており、汲み上げられた水はポリ瓶には入らず流れ流され、送水管を洗浄するための共洗い機能が実現する。④：マイクロスイッチがスリットの位置に移動すると、スイッチが切り替わり、モーターが停止し、ポリ瓶への採水を開始する。注水された水によりピンポン玉が浮き上がり、自動的に蓋がされる。⑤：ツインタイマーが切り替わる（オフ時間設定）とポンプが止まる。同時にモーターが再び作動する。⑥：マイクロスイッチがスリットの終わりにくると、モーターが停止し、1回目の採水動作が終了する。このあと、タイマーのON時間で調整するインターバル（休止期間）がある。⑦：休止期間を経てツインタイマーが切り替わると、モーターが作動し、2回目の採水動作を行う。③から⑦の動作を12回繰り返し、回転するアームが1周し、円形に並べてあるポリ瓶に次々に採水される。⑧：13回目の採水動作をしようとして、モーターが作動すると、スリットを切ったプラスチックリングに取り付けたトグルスイッチをアームがオフにする。これでリレーの電源が切れ、すべての回路がOFFになり、採水が終了する。

Ⅲ 浮遊砂濃度の測定例

試作した「みずとる君」を用いて、小流域における降雨イベントに伴う浮遊土砂流出の測定を行った。設置場所は、廣瀬ほか（1993）や金野ほか（1993）で報告している阿武隈山地中部の小流域である。これらの研究では、4つの基盤岩石の異なる小流域での比較研究をしているため、4台の自動採水器が必要であった。そこで、「みずとる君」の安さが生きてくる。水位を計測している流域の出口の堰に「みずとる君」を設置した。堰内の静水部位に水位センサーを取り付け、ポンプも同様に堰内に設置した。写真-2がその設置状況である。測定は、1994年6月より行い、何回かの降雨イベントに対応した採水を行うことができた。採水した水は実験室に持ち帰り、吸引濾過（ $1\mu\text{m}$ の濾紙を使用）をしたのち重

量を測定し、浮遊土砂濃度を得た。浮遊土砂流出に関する詳しい議論は、別稿（廣瀬ほか、1995）で論ずることにし、ここではその一例を第3図に示した。これは、石灰岩流域における1994年9月8日の降雨イベントを捉えたものである。採水間隔は30分で、図の上部に、流量、降水量、浮遊土砂濃度の時間変化を、下部に、浮遊土砂濃度とそのときの流量との関係（ヒステリシスループ）を示した。急激な流量増加時から採水が開始され、流量ピークと浮遊土砂濃度ピークが同時に現れた浮遊土砂流出の現象がうまく捉えられた。

Ⅳ おわりに

以上のように、試作した自動採水器「みずとる君1号改」は、降雨-流出過程の採水に十分な機能を果たした。それが、1台約3万円という低費で製作できたことにより、複数地点における測定をも可能にした。また、1994年9月から1995年2月までの約半年の間、現場に採水器を放置してあった。阿武隈山地では、この間に何回かの雨や雪があったにもかかわらず、持ち帰ってきた「みずとる君」は簡単なチェックのみで正常に作動した。

文 献

- 一柳錦平・恩田裕一・戸松 修・小野 裕（1994）：地質の異なる急峻な山地小流域における水質特性。42回日林中支論，219-222。
- 岩下広和・一柳錦平・恩田裕一・木村時政・広瀬孝（1994）：オートマチック・ウォーターサンブラーの製作。42回日林中支論，207-210。
- 金野 博・廣瀬 孝・恩田裕一・松倉公憲（1993）：阿武隈山地小流域における土砂流出について。筑波大学水理実験センター報告，18，99-104。
- 廣瀬 孝・恩田裕一・松倉公憲（1993）：異なる基盤岩石からなる小流域の流出特性について。筑波大学水理実験センター報告，17，57-64。
- 廣瀬 孝・瀬戸康裕・松倉公憲（1995）：基盤岩石の異なる4つの小流域における浮遊土砂の流出特性の差異。筑波大学水理実験センター報告，20，11-16。